EO BIBLIOTECA ARCHIVIO
MASSANO DEL GRAPPA
GEN
D
00
05611
89063

Attualità Scientifiche — N. 13

AUGUSTO RIGHI

COMETE ED ELETTRONI

DISCORSO INAUGURALE PRONUNCIATO IL 22 GIUGNO 1910
NELLA SEDUTA PLENARIA DELLA R. ACCADEMIA DELLE SCIENZE
DI BOLOGNA

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI
FIRENZE-ROMA-MILANO-PISA - R. Bemporad & F.
TORINO - S. Lattes & C. — GENOVA - E. Spiotti
NAPOLI - Fratelli Treves — PALERMO - A. Reber

BIBLIOTECA BASSANO
BA000089063

MUSEO BIBLIOTECA ARCHIVIO
BASSANO DEL GRAPPA

GEN
D
00
05611
89063

MUSEO BIBLIOTECA ARCHIVIO BASSANO

AUGUSTO RIGHI

COMETE ED ELETTRONI

DISCORSO INAUGURALE PRONUNCIATO IL 22 GIUGNO 1910
NELLA SEDUTA PLENARIA DELLA R. ACCADEMIA DELLE SCIENZE
DI BOLOGNA

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI
MCMXI

PROPRIETÀ LETTERARIA

Bologna - Tipografia Paolo Neri

I. - Introduzione.

È ancor fresco in tutti noi il ricordo di uno di quei fatti astronomici, che pur non essendo rari suscitano sempre per svariati motivi l'interesse generale; l'apparizione cioè di una cometa, e precisamente quella recentissima della cometa di Halley. È stata questa la sua quarta periodica visita, cominciando a contare da quella del 1682, anno in cui essa fu scoperta a Greenwich da Flamsteed. Preceduta dai soliti poco giustificati allarmi, a cui si opposero rassicurazioni forse troppo recisamente ottimiste, ma a cui i fatti hanno dato ragione, essa ha brillato nel cielo per qualche tempo, ed ora va scomparendo nelle profondità dell'etere, dopo averci mostrate le consuete apparenze, ed in particolare l'immensa coda luminosa.

Naturalmente non come astronomo, che tale con mio rammarico non posso vantarmi, vi parlerò di comete, ma bensì dal punto di vista dei fenomeni fisici che in esse hanno sede, o che per esse possono sorgere in altri corpi celesti e nella nostra terra in particolare. Ciò che mi permetterà di presentare alcune nuove vedute e di fare qualche utile ravvicinamento.

Si tratta in realtà di congetture non direttamente controllabili; ma tali congetture sono giustificate, direi quasi imposte, da leggi e risultati sperimentali incontroversi, e particolarmente da quelli che, scoperti nel corso di questi ultimi anni, hanno generato una evoluzione così profonda nei concetti fondamentali della filosofia naturale, che si stenterebbe forse a trovarne una analoga nella storia del pensiero umano. Dovrò dunque parlarvi, non solo di onde elettromagnetiche o luminose, ma altresì di ioni e di elettroni; però cercherò di farlo colla massima discrezione procurando di non dimenticare, che non tutti quelli che mi ascoltano possono avere con quei vocaboli quotidiana famigliarità.

II. - La pressione di radiazione.

Mentre le leggi della gravitazione, formulate da Newton, valgono a rendere conto in un modo mirabilmente preciso del movimento degli astri in generale, certe apparenze delle comete, come il formarsi e il distruggersi delle loro appendici luminose, e sopra tutto la direzione in cui prevalentemente esse si estendono, sembrano indicare l'esistenza d'una nuova forza agente sulla sostanza da cui sono costituite, non più attrattiva ma ripulsiva, avente sede nel sole.

Spesso la chioma d'una cometa presenta anzi una forma tale, da raffigurare un getto luminoso partente dal nucleo dalla parte rivolta verso il sole. Quel getto, incurvandosi poco a poco sino ad assumere la direzione contraria, si prolunga poi nella coda, a guisa d'un getto liquido che ricade dopo avere raggiunto una certa altezza.

Si ritiene oggi generalmente che quella ripulsione sulle code cometarie realmente esista, ma sia di natura assai diversa dalla gravitazione, e pre-

cisamente si debba ad un'azione della luce, o in generale delle onde elettromagnetiche di qualunque lunghezza d'onda, emesse dal sole.

Sembra che Kepler [1] abbia per primo emessa quest'idea, che doveva sorgere spontaneamente allorchè si consideravano i fenomeni luminosi come effetti dell'emissione dai corpi incandescenti delle innumerevoli e velocissime particelle costituenti il così detto fluido luminoso. Tali particelle, coi loro urti incessanti, dovevano infatti tendere a spostare nella direzione del loro cammino i corpi da esse colpiti.

Newton [2] non poteva naturalmente respingere tale concetto; tuttavia preferì di attribuire l'apparente ripulsione solare alla presenza nello spazio circondante la cometa di un mezzo più denso della materia costituente la coda cometaria, di guisa che questa si formerebbe in virtù del principio d'Archimede, nello stesso modo con cui si forma nell'aria una colonna ascendente d'aria calda e di fumo. Evidentemente nessuno oggi potrebbe adottare una simile spiegazione.

Nella prima metà del diciottesimo secolo alcuni fisici tentarono di dimostrare sperimentalmente la

esistenza della pressione prodotta dalle radiazioni, ma non giunsero che a risultati incerti e contraddittori.

Non ebbe più tardi miglior fortuna il noto elettricista Bennet [3], il quale anzi fu tratto dal suo insuccesso a dubitare della teoria dell'emissione, che pure era sostenuta dalla autorità di Newton, e ad esprimere l'idea, che probabilmente la luce ed il calore non sono dovuti a proiezioni di particelle, ma piuttosto a vibrazioni del fluido calorifico o luminoso; e, cosa degna di nota, soggiungeva, che *le moderne scoperte* (s'intende naturalmente di riferirci alla seconda metà del secolo decimottavo) *specialmente nel campo dell'elettricità favoriscono tale ipotesi.*

Si riteneva dunque, che l'esistenza della pressione di radiazione fosse una naturale conseguenza della teoria dell'emissione, e che il considerare invece la luce come fenomeno ondulatorio dovesse condurre di necessità a negarla. Però Eulero aveva cercato di dimostrare teoricamente [4], che anche nella propagazione di onde longitudinali si genera una pressione sui corpi da esse incontrati, la quale tende a spostarli nella direzione della propaga-

zione. Oggi si sa, che altrettanto può dirsi per le onde trasversali; per cui l'esistenza della pressione di radiazione non può essere invocata come prova contro o in favore di una speciale teoria della luce.

I tentativi di dimostrazione sperimentale della pressione di radiazione si sono ripetuti a intervalli sino a questi giorni, ma il successo è stato raggiunto solo da pochi anni. Così il celebre Fresnel (5) ottenne bensì degli spostamenti di corpi leggeri sospesi nell'aria rarefatta, facendo cadere su essi la luce, ma tali spostamenti in qualche caso avvenivano in senso opposto a quello previsto; cosicchè l'unica conclusione sicura a cui potè arrivare fu, che quegli spostamenti non erano dovuti nè a forze elettriche nè a forze magnetiche.

Il ben noto fisico inglese Crookes (6) credè di avere raggiunto lo scopo nel 1873 con esperienze delicatissime, per le quali trasse profitto dei mezzi sperimentali perfezionati, che mancavano all'epoca di Fresnel, particolarmente in quanto alla rarefazione dei gas. Da tali esperienze fu condotto alla invenzione del radiometro. Ma dovette poi riconoscere, d'accordo in ciò coi risultati ottenuti dal fisico ed astronomo tedesco Zöllner (7), che le forze

che si manifestano in quell'interessantissimo strumento sono d'altra natura e assai più intense della pressione di radiazione.

Poco dopo appariva quel mirabile libro del Maxwell (8), al quale tanto deve la fisica moderna, ed in esso era contenuta la dimostrazione della pressione prodotta sui corpi, quando siano colpiti da onde elettromagnetiche, e quindi, secondo le odierne credenze, da onde luminose o calorifiche. E poichè oggi le prove sperimentali in favore della teoria elettromagnetica della luce sovrabbondano, si sarebbe ampiamente persuasi dell'esistenza della pressione di radiazione, quand'anche la diretta conferma sperimentale mancasse. Questa tuttavia è stata finalmente raggiunta, come dirò fra poco.

Intanto però amo ricordare, che un giovane fisico italiano (9), troppo presto tolto alla scienza, seppe, prima ancora che la teoria di Maxwell fosse divulgata e ben compresa, prevedere e calcolare la pressione della luce fondandosi semplicemente sul secondo principio della termodinamica; dopo di che si accinse a darne la dimostrazione sperimentale. Egli morì professore nell'Università di Pavia; ma fu poco lungi di qui, quasi al di sopra delle

nostre teste, ch' egli lavorò sulla pressione della luce, poichè il Bartoli era allora assistente alla cattedra di Fisica in questa Università. Se coi mezzi a sua disposizione non raggiunse l'intento, ebbe però quel compenso, che raramente manca a chi è tenace e abile ricercatore, giacchè fu condotto a scoprire altra cosa, e precisamente quei movimenti di corpi leggeri dovuti essi pure, ma indirettamente, alle radiazioni, che si manifestano nel radiometro di Crookes.

Il merito principale del Bartoli consiste in ciò, che egli non solo previde la pressione di radiazione, ma seppe calcolarne il valore, in perfetto accordo con quello che si ricava dalla teoria di Maxwell.

Per acquistare una idea del ragionamento di Bartoli immaginiamo una sfera, nonchè una lamina sferica concentrica di raggio più grande, e supponiamo la prima ad una temperatura qualunque e a superficie completamente assorbente (corpo nero) e la seconda con superficie perfettamente riflettente. La sfera irradia continuamente parte della sua energia, che, riflessa dall'involucro che la circonda, torna alla sfera stessa. Una certa

quantità di energia occupa dunque continuamente lo spazio compreso fra le due superfici sferiche. Ciò posto, imaginiamo che la lamina riflettente si contragga, in modo che il suo raggio gradatamente diminuisca sino a divenire uguale a quello della sfera nera. L'energia che esiste nell'intervallo fra le dette superficie deve allora passare evidentemente a grado nella sfera, in aumento dell'energia che già vi è contenuta.

Si comprende così come sia possibile, astrazione fatta da difficoltà d'ordine pratico, il far passare in un corpo l'energia di radiazione esistente nell'etere. Orbene, complicando alcun poco l'ideale disposizione si può far in modo, che quell'energia che si fa entrare nella sfera sia quella precedentemente irradiata da un altro corpo nero, la cui temperatura potrà supporsi minore di quella della sfera stessa.

Si supponga perciò che l'involucro sferico riflettente circondante la sfera sia circondato alla sua volta da un altro simile di raggio maggiore, e che l'intero sistema sia posto in una cavità sferica concentrica praticata in un corpo nero a temperatura più bassa di quella della sfera centrale.

In complesso abbiamo dunque un sistema così costituito: 1° una sfera ad una certa temperatura; 2° una lamina sferica riflettente di raggio maggiore; 3° una seconda lamina simile di raggio anche più grande; 4° un corpo, a temperatura più bassa di quella della sfera, avente una cavità sferica, entro la quale e concentricamente esistono le sfere precedenti.

Per far passare del calore dal detto corpo alla sfera basterà ripetere fin che si vuole la seguente serie di operazioni. Sparisca dapprima il secondo involucro riflettente; tutto lo spazio compreso fra il primo involucro e la cavità sarà allora occupato dalla energia irradiata dal corpo nero meno caldo. Poi si supponga rimesso a posto il secondo involucro e fatto sparire il primo. Basterà allora che il secondo involucro, entro il quale resta una parte dell'energia irradiata dal corpo nero esterno, diminuisca di raggio sino ad andare a toccare la sfera (oppure che il raggio di questa aumenti gradatamente quanto basta), perchè la detta energia sia portata alla sfera centrale.

Per il secondo principio della termodinamica non è possibile trasportare dell'energia calorifica

da un corpo qualunque ad un altro di temperatura più alta, senza che si compia in pari tempo una trasformazione in calore di un determinato lavoro meccanico, l'ammontare del quale può calcolarsi, quando si conoscano le temperature dei due corpi.

Bartoli suppose, che quel lavoro meccanico si effettui quando la superficie della sfera riflettente, il cui raggio si fa gradatamente diminuire, si muove contro le radiazioni che su di essa si riflettono, e quindi che esista una pressione dovuta alle radiazioni. A calcolo fatto trovò, che tale pressione riferita all'unità d'area della superficie colpita dalle radiazioni è numericamente eguale all'energia radiante contenuta nell'unità di volume dell'etere che la trasmette. Ciò pel caso in cui il corpo colpito dalle radiazioni completamente le assorba, ossia abbia il comportamento dell'ideale corpo nero; mentre pel caso di un corpo perfettamente riflettente la pressione di radiazione diviene doppia. Pei corpi reali la pressione stessa avrà un valore intermedio, tanto più prossimo a quest'ultimo quanto maggiore è il loro potere riflettente.

Non essendo il Bartoli riuscito a trovare la conferma sperimentale della prevista pressione pro-

dotta dalla luce, egli ripudiò il suo geniale concetto, e cercò di conciliare per altre vie il risultato previsto col principio di Carnot. Lasciò anzi la descrizione di una sua esperienza tendente a sostenere una nuova e non meno ingegnosa ipotesi. Ma oggi non può rimanere alcun dubbio sulla validità della sua previsione primitiva, giacchè l'esistenza della pressione di radiazione è stata dimostrata sperimentalmente, in particolare da Lebedew ([10]), Nichols e Hull ([11]) e Poynting ([12]).

Le considerazioni teoriche del Bartoli vennero riprese ed estese da Boltzmann ([13]), Wien ([14]), Galitzine ([15]), Guillaume ([16]) e da altri. Invece che attenermi al ragionamento del Bartoli avrei anzi potuto riferire quello del Boltzmann, che richiede il giuoco di un apparecchio ideale più semplice e di realizzazione meno difficile di quello basato sull'impiego delle sfere concentriche, in quanto che, fra altro, richiede l'uso di stantufi mobili in un cilindro, anzichè quello di sfere a raggio variabile; ma ho preferito di rispettare, od almeno di lasciare sostanzialmente invariato, il concetto del compianto fisico italiano.

Colle esperienze dei fisici citati, non solo è stata dimostrata l'esistenza della pressione prodotta dalla

luce, ma si è giunti a misurarla, ottenendo per essa valori i quali, entro i limiti ammissibili per gli errori sperimentali, concordano col valore teorico calcolato da Bartoli, e quindi con quello a cui conduce la teoria di Maxwell, giacchè quest'ultimo e quello del Bartoli fra loro coincidono, come ho detto poc' anzi. Si è giunti inoltre a mostrare l'effetto della pressione di radiazione sul corpo stesso che emette la luce, il quale in certo modo tende a rinculare per reazione. Le esperienze in proposito, ingegnosamente concepite, sono state eseguite assai di recente dal Poynting ([17]).

La pressione dovuta alla luce solare sopra un corpo di dimensioni usuali è trascurabile di fronte all'attrazione esercitata su di esso dal sole, per cui la gravitazione non rimane diminuita che d'una frazione trascurabile.

Ma le due forze divengono paragonabili nel caso di corpi di dimensioni piccolissime, in virtù della circostanza che, mentre la forza di gravitazione è proporzionale alla massa e quindi al volume di un corpo di data densità, la pressione di radiazione è invece proporzionale alla superficie di questo, la quale diminuisce meno rapidamente del volume allorchè si passa da un corpo ad un altro

MUSEO BIBLIO BASS

di forma simile e di dimensioni di più in più piccole. Accade dunque necessariamente, che per corpi aventi certe dimensioni, del resto piccolissime, la pressione della luce eguaglia la gravitazione, mentre che per corpi di dimensioni anche minori l'apparente ripulsione dovuta alla luce diviene predominante. Ne risulta che corpi qualunque, ma di dimensioni abbastanza piccole, sono respinti dal sole anzicchè attratti, e se ne allontanano con crescente velocità, anzichè cadere su di esso.

III. - Costituzione delle code cometarie.

Essendo indubitata la presenza di gas nelle code delle comete si è ritenuto per molto tempo, che esse fossero unicamente costituite da corpi aeriformi. Tale era l'opinione del Bredichin ([18]), al quale si debbono studi importantissimi sulle code cometarie.

Ma certi fenomeni da queste presentati, e in particolare la riflessione o diffusione della luce solare, fanno pensare, che in esse si trovino innumerevoli e minutissime particelle solide.

Per comprendere come queste appaiano respinte dal sole basta ammettere, che le loro dimensioni

siano così piccole, che la pressione prodotta su di esse dalla radiazione del sole superi l'attrazione da questo esercitata.

Dallo studio del movimento delle code, e segnatamente da quello della loro curvatura, si può trarre una valutazione della forza ripulsiva apparente del sole. Essa è diversa per varie comete, e diversa pure per le differenti appendici luminose, nel caso di comete a code multiple. Per diverse code cometarie Bredichin trovò, che la ripulsione era eguale a 18,5 volte l'attrazione solare, oppure 3,2 volte, 2 volte, 1,5 volte. Per certe appendici o code rivolte verso il sole, la forza ripulsiva non era che tre decimi della gravitazione, cosicchè questa aveva ancora il sopravvento. Basta evidentemente ammettere una diversa dimensione media delle particelle o diversa densità, perchè possano verificarsi questi diversi fatti.

Si deve al celebre fisico svedese Arrhenius [18] la teoria delle code cometarie, secondo la quale esse constano principalmente di polvere cosmica, cioè di particelle solide o liquide minutissime, generate nella cometa per azione dell'intenso riscaldamento in essa prodotto allorchè si avvicina al perielio.

Anche all'infuori delle comete Arrhenius am-

mette, che continuamente si spanda nello spazio una polvere cosmica avente la sua prima origine nelle eruzioni solari.

I gas che queste producono si condensano in parte formando particelle solide o liquide più o meno minute, cui possono servire da nucleo quegli elettroni e ioni, specialmente negativi, emessi dal sole, di cui parlerò più tardi.

Sospinte dalla pressione di radiazione, le particelle di questo pulviscolo, se di dimensioni abbastanza piccole, si allontaneranno in ogni senso, e daranno origine a molteplici fenomeni, od almeno avranno una parte più o meno importante nella loro produzione, come la corona solare, che appare intorno all'astro durante le ecclissi totali, la luce zodiacale, e le aurore polari sulla terra. Naturalmente la polvere cosmica ricadrà in parte sul sole; e ciò accadrà, per esempio, allorchè più particelle si riuniscano in gruppi, di modo che si abbiano masse più considerevoli senza aumento proporzionale della superficie illuminata. Anzi, secondo Arrhenius, tali aggruppamenti potrebbero assumere eventualmente dimensioni tali da costituire veri meteoriti, ciò che potrebbe rendere conto del fatto,

che questi piccoli corpi erranti sembrano esistere in numero inesauribile.

Si ritiene oggi generalmente, che il nucleo di una cometa sia principalmente costituito da un gran numero di piccoli corpi solidi simili a quelli che, vagando isolatamente negli spazi, o muovendosi di conserva in modo da formare i ben noti anelli meteorici, divengono poi areoliti o stelle cadenti, allorchè traversano l'atmosfera terrestre. Ciò posto, è chiaro che, giunto il nucleo cometario a grande prossimità del sole, l'intenso riscaldamento darà origine a fusioni ed a formazione di vapori, che poi si condenseranno intorno a nuclei costituiti da ioni o da elettroni partiti dal sole, come si spiegherà più oltre. Ed anche per altre vie potrà generarsi un sottile pulviscolo a spese del nucleo, e cioè: in seguito a disaggregazione del materiale che lo costituisce, disaggregazione la quale sarà certamente facilitata da quella struttura porosa, che spesso si riscontra negli aeroliti; oppure in seguito a dilatazioni parziali; o in causa dello svolgersi di gas occlusi ecc.

Le particelle del pulviscolo cometario formatosi in tal guisa saranno esposte all'attrazione del sole

e a quella del nucleo, nonchè alla pressione della radiazione partente dal sole, e da quella che parte dal nucleo fortemente riscaldato. Per le più grosse particelle del pulviscolo la pressione di radiazione sarà piccola in confronto della gravitazione e perciò esse cadranno verso il nucleo, se sono a questo assai vicine, o verso il sole; salvo a retrocedere da questo se per suddivisione, evaporazione o altro le dimensioni loro vengano in breve sufficientemente diminuite. Quelle particelle di pulviscolo, le cui dimensioni sono abbastanza piccole, saranno addirittura respinte dal sole per opera delle radiazioni di questo, a cui si aggiungerà bentosto quella delle radiazioni del nucleo, se le particelle sono già arrivate in luogo tale, che questo nucleo si trovi fra esse ed il sole. Se per la natura del materiale costituente il nucleo o per altri motivi si formano minute particelle di più ordini di grandezza, si formeranno più code. Quelle meno incurvate saranno prodotte dalle particelle più minute e quindi più vivamente respinte dal sole.

Può accadere che il veemente svolgersi di gas dal nucleo, che naturalmente avviene dalla parte esposta ai raggi solari, imprima una notevole velo-

cità diretta verso di esso alle particelle solide che poscia si producono, anche se le dimensioni di queste sono tali, che la pressione di radiazione superi largamente l'attrazione solare. Il loro movimento verso il sole dovrà però presto rallentarsi e finire coll'invertirsi, cosicchè esse pure andranno a formare la coda cometaria. Si spiegherebbero principalmente in tal modo quei getti luminosi, ai quali ho accennato in principio.

È utile notare, che quanto è stato detto suppone, che la velocità delle particelle su cui agiscono le radiazioni sia piccola in confronto della velocità delle radiazioni stesse, e questo può dirsi essere certamente il caso. È chiaro che, se le particelle si spostassero nella stessa direzione delle radiazioni e colla medesima velocità, la pressione di radiazione sarebbe nulla. Giova osservare altresì, che siccome l'intensità delle radiazioni, e quindi anche la pressione da esse prodotta, diminuisce al crescere delle distanze nel medesimo rapporto con cui diminuisce l'attrazione solare, anche la risultante di tali forze contrarie segue la stessa legge. Perciò all'attrazione viene a sostituirsi una ripulsione, che obbedisce alla solita legge delle distanze,

ciò di cui va tratto profitto nello studio delle code cometarie. Non conviene però ignorare, che la forza agente su una particella può subire variazioni lente o improvvise, se essa viene a suddividersi, o a perdere materia per evaporazione, oppure se si aggrega con altre, od infine se per una ragione qualsiasi varia l'intensità delle radiazioni che la colpiscono. Se si riflette poi alla grande probabilità, che altre forze continue od istantanee, oltre quelle sin qui considerate, possono entrare in giuoco, per esempio: reazione dovuta allo svolgersi di gas; urti di altre particelle; urti di molecole gassose (moti browniani nei gas); effetto radiometrico conseguente alla probabile non uniformità di temperatura nei vari punti della superficie della particella considerata; resterà persuaso ognuno che, pur facendo astrazione dai fenomeni elettrici, i quali, come farò vedere, si producono verosimilmente nelle code cometarie, i fenomeni dei quali queste sono sede posseggono necessariamente una complicazione di gran lunga maggiore di quanto a primo aspetto si poteva supporre.

Ciò non di meno a me pare, che la teoria, secondo la quale la coda d'una cometa è princi-

palmente costituita da pulviscolo partito dal nucleo e sospinto dalle radiazioni solari, sia degna della massima considerazione, e meriti che si cerchi di completarla nei dettagli. Così, per quanto riguarda i limiti delle code e la loro durata, si potrebbero fare, a mio avviso, le considerazioni seguenti.

Le minutissime particelle partenti dal nucleo costituiscono un efflusso di materia, che cesserà allorchè la cometa, oltrepassato il suo perielio, si sia abbastanza allontanata dal sole, perchè il nucleo si raffreddi alquanto. Finchè tale corrente esiste, essa non si allungherà indefinitamente, ma cesserà ad una certa distanza, e ciò per diverse ragioni. In primo luogo la velocità di una particella non può in generale conservare a lungo la sua direzione primitiva, in causa delle collisioni di cui ho fatto cenno poc'anzi. Ora, quando la particella si muove obbliquamente rispetto alla coda di cui fa parte, o meglio ancora trasversalmente, essa deve finire collo sfuggire nello spazio circostante. Ne consegue, che non tutte le particelle emesse dal nucleo rimangono indefinitamente a formare la coda, ed anzi che il numero di quelle, che in un determinato tempo ne attra-

versano una sezione trasversale, è tanto minore, quanto più tale sezione è presa lontana dal nucleo. In secondo luogo è da considerare che, in causa della porzione di coda interposta, l'intensità della radiazione deve decrescere quando si considera il suo effetto in luoghi di più in più lontani dal nucleo. Tale circostanza renderà più facili a prodursi i cambiamenti di direzione del movimento delle particelle, e queste rapidamente si disperderanno.

Non intendo entrare in dettagli ulteriori, chè il tempo fugge. Passo dunque a trattare un'altra questione importante: quella della presenza di gas nelle code cometarie.

IV. - La pressione di radiazione sui gas.

Per qualche tempo si credette da tutti, che il rapporto fra la ripulsione apparente dovuta alle radiazioni del sole, e l'attrazione da questo esercitata, crescesse indefinitamente al diminuire delle dimensioni del corpo preso in considerazione. Ciò permetteva naturalmente di calcolare quel rapporto

in casi speciali. Per esempio, mentre per una sferetta costituita da acqua, o da altro corpo di densità eguale all'unità, ed avente il diametro di 15 decimillesimi di millimetro, la pressione prodotta dalla luce solare fa esattamente equilibrio alla gravitazione verso il sole ([20]), di guisa che quella sferetta non tende nè a cadere verso di questo nè ad allontanarsene, si pensò, che per una sferetta della stessa sostanza e di diametro minore la pressione della luce superasse l'attrazione tanto più, quanto più piccolo fosse quel diametro; ed anzi, con un facile calcolo, si giunse a stabilire, che la accelerazione dovuta alla ripulsione risultante (cioè la ripulsione apparente prodotta dalla radiazione diminuita della gravitazione) doveva variare in ragione inversa del diametro stesso.

Ma tale conclusione sarebbe invalidata da Schwarzschild ([21]). Secondo questo autore ed in causa del fenomeno di diffrazione, quando le radiazioni incontrano una sfera il cui raggio sia di grandezza paragonabile a quella della lunghezza d'onda, la pressione da esse generata non potrebbe più essere calcolata, come quando si tratta d'un corpo di grandi dimensioni.

Risulterebbe invece, che la pressione di radiazione, comincia bensì col crescere relativamente alla gravitazione allorchè diminuisce la grandezza della particella su cui agisce, ma, raggiunto un certo massimo, la pressione suddetta nuovamente diminuisce sino a ridursi trascurabile. Per esempio, mentre per una sferetta di densità uno la pressione di radiazione eguaglierebbe l'attrazione solare, se il suo diametro fosse 15 decimillesimi di millimetro, facendo diminuire tale diametro il rapporto fra pressione e attrazione crescerebbe, fino a che il detto diametro fosse eguale a circa un terzo della lunghezza d'onda, nel qual caso la pressione di radiazione diverrebbe eguale a circa diciotto volte la gravitazione, dopo di che quel rapporto nuovamente decrescerebbe e tenderebbe a zero.

Quel rapporto eguale a 18 corrisponde all'incirca al più grande di quelli trovati da Bredechin per molte code cometarie. Se, come sembra dimostrato, si verificano casi in cui quel rapporto risulta anche più grande, ciò non può recare meraviglia, dipendendo esso anche dalla densità. Così, per un corpo di densità eguale alla metà di quella dell'acqua, il rapporto suddetto sarebbe eguale non più a 18 ma a 36.

Il Fitzgerald ([22]) aveva ammesso già, che la pressione di radiazione si manifestasse anche sulle singole molecole gassose, e per valutarne gli effetti assimilò queste ultime a piccole sfere dotate di potere assorbente perfetto. Ma le dimensioni presumibili di tali sferette sono ad ogni modo così piccole, che, qualora si tenga conto dell'opinione di Schwarzschild, l'effetto prodotto su di esse dalle radiazioni deve essere trascurabile. E così si arrivò ad asserire ([23]), che se si svolgono dei gas dal nucleo di una cometa, tali gas non possono essere trascinati dalle radiazioni sino a generare la coda.

Eppure la presenza di certi gas nelle code cometarie è indubitata, perchè resa manifesta dall'esame della luce emessa; per cui, se si accetta la precedente conclusione altra via forse non rimane per render conto dei fatti, all'infuori che supporre, che i gas siano continuamente generati per effetto di riscaldamento delle particelle di polvere cosmica, o in seguito a fenomeni elettrici; con che si va incontro però a qualche seria obiezione.

In questa questione dell'azione delle radiazioni sulle singole molecole dei gas, e quindi della presenza di areriformi nelle code cometarie, si è veri-

ficato una volta di più il fatto non raro, che si arrivi a conclusioni giuste o giudicate tali solo in modo assintotico, cioè dopo una serie di successive correzioni, e spesso, come in questo caso, dopo avere compiuto una serie di successive oscillazioni, fortunatamente d'ampiezza decrescente, da una parte e dall'altra della verità.

Si cominciò infatti coll'ammettere la pressione di radiazione sulle molecole isolate, poi si fu indotti a dubitarne; infine, come sto per raccontare, si è pervenuti alla conclusione di prima, ma basata su nuovi criteri.

Il considerare le molecole gassose come sfere piccolissime e l'applicare ad esse senz'altro le conclusioni valevoli pei corpi d'usuale grandezza, sono procedimenti completamente arbitrarî. Mi sembra evidente, che non si può pretendere di prevedere ciò che accade in una molecola, senza tenere conto della sua particolare struttura, la quale poi non ci è che molto imperfettamente conosciuta. Tuttavia si può asserire che, essendo le onde di luce e di calore emesse dal sole vere onde elettromagnetiche, e partecipando i corpi, secondo i moderni concetti, ai fenomeni di radiazione per mezzo degli elettroni

che entrano nella struttura degli atomi, gli effetti che possono prodursi allorquando delle onde elettromagnetiche investono una molecola gassosa dipenderanno dai movimenti impressi dalle onde agli elettroni. Con questo non si procede che ben poco verso la soluzione d'un problema, che evidentemente è straordinariamente complesso; ma un fatto, che si produce in tale circostanza, ci è noto, e cioè l'assorbimento per parte del gas di quelle radiazioni, che hanno certe determinate periodicità, rivelato dal presentarsi di certe righe nere nello spettro delle radiazioni trasmesse dal gas medesimo. Si rende conto di ciò, come è noto, ammettendo, che avvenga un fenomeno analogo a quello, che in acustica si chiamò un tempo fenomeno delle vibrazioni simpatiche, ed ora fenomeno di risonanza; e cioè supponendo che gli elettroni facenti parte degli atomi e quindi delle molecole del gas entrino in vibrazione per risonanza, sottraendo così parte dell'energia spettante a quelle radiazioni, la cui periodicità è eguale a quella delle vibrazioni proprie degli elettroni.

Considerato in tal modo, il fenomeno dell'assorbimento di certe radiazioni per parte delle molecole

è appunto simile al fenomeno della risonanza, che si produce allorchè un corpo sonoro entra in vibrazione per essere investito da onde sonore di periodicità eguale o quasi eguale, provenienti cioè da un secondo corpo sonoro, il cui periodo vibratorio differisca assai poco da quello del primo.

Orbene, questo fenomeno acustico della risonanza è accompagnato dalla produzione di forze, le quali, a seconda dei casi, tendono a spostare in vario modo il primo corpo, cioè il risonatore.

Se ne ha un esempio nelle note esperienze di Dvořák ([24]) ed in quelle assai più recenti del Lebedew ([25]). Queste ultime, alle quali corrispondono esperienze perfettamente analoghe, realizzate con onde elettromagnetiche ([26]), oppure con onde idrodinamiche ([27]), diedero risultati di grande importanza. In tutti e tre i casi, se il corpo che dà origine alle onde acustiche, elettromagnetiche o idrodinamiche, è assai vicino al corpo che funziona da risonatore, e se questo è mobile, si trova, che esso si avvicina alla sorgente e quindi sembra attratto da essa, oppure se ne allontana così da sembrare respinto, secondo che il periodo vibratorio del risonatore, pur differendo poco da quello delle onde, è rispet-

tivamente più breve e più lungo di quello della sorgente. Ma nel caso del suono si riesce ad ottenere effetti misurabili anche tenendo il risonatore alquanto lontano dalla sorgente, ed allora si riconosce, che in ogni caso esso è respinto da questa, ossia che esso tende a muoversi nel senso della propagazione delle onde. Rimane così confermata in base ad una analogia la previsione dello stesso fisico ([28]), secondo la quale le molecole d'un gas sono spinte dalle onde luminose o calorifiche nel senso in cui queste si propagano, se il gas assorbe per risonanza qualcuna delle radiazioni che lo investono.

Ed ecco che, seguendo una nuova via e con induzioni ed esperienze indirette, si è giunti ad acquistare la convizione, che debba esistere quella pressione di radiazione sui gas, che era stata ammessa dapprima in base a diverse e meno accettabili considerazioni, e più tardi assolutamente negata. E così, dopo avere oscillato fra l'ammissione e la negazione della pressione generata dalla luce sui gas, si è arrivati ad un risultato, che in questi giorni ha ricevuto la sanzione dell'esperienza. Infatti il Lebedew l'ha da poco confermato ([29]) mediante esperimenti delicati, l'esistenza della detta pressione su vari gas

(anidride carbonica, acetilene ecc.), e l'ha anche misurata, trovando valori assai concordanti colle previsioni.

Potremo ora concludere dunque, che le code cometarie, pur ammettendo siano principalmente costituite da pulviscolo cosmico sospinto dalle onde emananti dal sole, possono anche contenere dei gas, i quali, verosimilmente svoltisi dal nucleo, sono spinti a formare la coda dalle onde solari.

Riguardo ai gas delle code cometarie si deve notare, non solo che essi devono essere molto rarefatti, ma che debbono continuamente sfuggire e disperdersi nello spazio, cosicchè essi si trovano nelle code, per così dire, soltanto di passaggio, ciò che, del resto, avviene anche delle particelle di pulviscolo cosmico. La ragione di ciò sta nella debole massa del materiale non gassoso, la cui attrazione soltanto può trattenere le molecole del gas.

Le considerazioni, che si possono svolgere per chiarire questo punto, sono le stesse a cui si ricorre quando si vuole spiegare come accada, che nell'atmosfera d'un pianeta certi gas permangono, mentre altri di minor densità sfuggono da essa ([30]).

Una molecola gassosa non può far ritorno nel-

l'atmosfera di un pianeta, se l'abbandona con una velocità superiore ad un certo valore critico, quello cioè della velocità con cui arriverebbe al punto che occupa e partendo da una distanza infinitamente grande, per effetto della sola attrazione del pianeta. È solo nel caso in cui la molecola considerata abbia una velocità minore di quella critica, che essa, se non è esposta a collisioni, descriverà intorno al pianeta una elisse a guisa di satellite. Ma in realtà anche in tal caso potrà non più far ritorno, se la sua orbita è talmente oblunga da portarla nel dominio di altro corpo celeste. Naturalmente, sarà soltanto dagli strati più lontani dal pianeta, ove cioè l'atmosfera è assai rarefatta e rare le reciproche collisioni molecolari, che le molecole dotate di velocità abbastanza grandi e in direzioni opportune sfuggiranno nello spazio interplanetario.

Se l'atmosfera è costituita da un miscuglio di gas differenti, potrà accadere che la velocità media che anima le molecole di certi gas, superi il valore critico, e quella di altri resti invece al disotto di questo valore. I primi abbandoneranno il pianeta, mentre gli altri rimarranno a formarne l'atmosfera; i primi saranno i gas aventi una densità inferiore,

gli altri quelli aventi una densità superiore ad un certo valore determinato.

È inteso, che ad un dato istante le varie molecole d'un determinato gas posseggono velocità differenti; ma il numero di quelle, la cui velocità ha un valore differente da quello che si assume per la velocità media, è tanto più piccolo quanto più piccola è la differenza fra le due suddette velocità. In realtà dunque una molecola di qualsiasi gas, anche fra i più densi, può eventualmente avere una velocità maggiore della critica, e, in circostanze favorevoli, abbandonare l'atmosfera; ma il numero dei casi di tal genere sarà relativamente assai esiguo.

È istruttivo confrontare ciò che avviene nelle atmosfere di due pianeti di massa differente. Per quello di massa minore la velocità critica per le molecole è naturalmente più piccola che per l'altro; perciò, a parità delle altre condizioni, un gas abbastanza denso per rimanere nell'atmosfera del corpo di massa maggiore potrà prontamente sfuggire da quella del corpo di massa più piccola. Così il vapore acqueo, l'ossigeno ecc. permangono nell'atmosfera terrestre, mentre l'idrogeno e l'elio, che in piccola quantità vi si trovano, provenienti da sorgenti o

da eruzioni ecc. sfuggono di continuo nello spazio; ed intanto quegli stessi gas che formano l'atmosfera terrestre non possono essere trattenuti da una massa molto minore, come quella della luna, la quale appunto si ritiene priva d'ogni sensibile atmosfera.

Queste considerazioni possono applicarsi a qualsiasi sistema costituito da masse solide e di gas; quindi anche alle code cometarie. E poichè la massa della polvere cosmica costituente tali code è indubbiamente assai piccola, per quanto sia sparsa in un immenso volume, così non potrebbero essere trattenute dalla gravitazione che molecole di gas di elevatissima densità.

Non appena, dunque, che una molecola del gas sospinto dalle radiazioni nella coda d'una cometa subisca urti o perturbazioni tali da risultare cambiata la direzione della velocità sua, essa abbandonerà la coda stessa. Il contenuto in gas sarà dunque decrescente nel senso che va dal nucleo all'estremità della coda.

Quanto poi alla presenza di particelle liquide nelle code cometarie si potrà osservare, che la loro durata sarà generalmente breve, perchè più o meno rapidamente a seconda della loro natura esse assu-

meranno lo stato aeriforme, ed allora per le loro singole molecole varrà quanto si è detto per quelle dei gas in generale.

V. - Fenomeni elettrici nelle comete.

Se la pressione della luce dà genericamente ragione dell'aspetto delle comete, bisogna cercare altrove la spiegazione di certi interessanti fenomeni da esse presentati.

Le moderne conquiste fatte dalla Fisica hanno dimostrato l'esistenza di particelle elettrizzate negativamente, dotate di una massa così piccola da superare di poco la duemillesima parte di quella di un atomo di idrogeno. Per molteplici ragioni si è stati condotti a ritenere, che la massa di tali particelle, che d'altronde non è costante ma cresce al crescere della loro velocità, sia una apparenza, e che l'inerzia, che la caratterizza, si debba alle reazioni dell'etere sulla loro carica elettrica a norma delle note leggi dell'elettromagnetismo. Esse non sarebbero dunque nuovi atomi materiali assai più

piccoli degli atomi conosciuti, ma semplici quantità elementari o atomi di elettricità, ai quali si è dato il nome di *elettroni*. Ammessa la loro esistenza insieme a quella di forze speciali aventi sede nell'etere, del quale forse gli elettroni non sono che modificazioni localizzate, si ha quanto basta per costruire un soddisfacente modello dell'universo e dei fenomeni che in esso si svolgono. In altre parole, come per l'addietro si ammetteva oltre all'etere universale un'entità fondamentale chiamata materia caratterizzata dalla proprietà chiamata inerzia, e con essa si cercava di render conto d'ogni fenomeno, si può oggi raggiungere lo stesso fine cogli elettroni e coll'etere, e in pari tempo rendere conto della stessa materia.

Fu principalmente dallo studio di certi fenomeni elettrici e in particolare dei noti raggi catodici, che i fisici ricavarono in poco tempo così rimarchevoli frutti. Si ritiene appunto che i raggi catodici siano costituiti da elettroni negativi in rapidissimo moto traslatorio.

Ma vi sono altri casi, che più particolarmente interessano la spiegazione dei fenomeni cometari, nei quali gli elettroni determinano svariati effetti.

Poichè un atomo è un aggregato di elettroni positivi e negativi, o secondo alcuni un sistema costituito da elettroni negativi e da una massa unica o grande elettrone positivo, i così detti *ioni positivi* o *negativi*, da tempo considerati come fattori nella produzione dei fenomeni chimici ed elettrici, differiranno dall'atomo ordinario o neutro, o da un sistema d'atomi neutri, per la mancanza o per la sovrabbondanza di elettroni negativi; generalmente d'uno solo o di pochi. Questo modo di definizione lascia comprendere, che agli elettroni negativi si attribuiscono attitudini speciali, che invece si negano a quelli positivi. In vero, non si è mai raggiunta la prova sicura dell'esistenza separata di questi ultimi, e tanto meno della loro mobilità, mentre invece si hanno nei raggi catodici, ed in altri raggi emananti dai corpi radioattivi, degli elettroni negativi in moto traslatorio, e mentre l'emissione della luce per parte dei corpi luminosi va attribuita alle vibrazioni degli stessi elettroni negativi e non dei positivi, almeno allo stato attuale delle nostre cognizioni.

Così l'importanza degli elettroni negativi è preponderante, al punto anzi che oramai, quando si

parla di elettroni, si sottintende sempre di parlare dei negativi, anche se questo aggettivo non viene espresso.

La *ionizzazione* d'un atomo, ossia la separazione da esso di un elettrone, accade in varie circostanze, fra le quali pel nostro argomento hanno maggior importanza le due che seguono:

1.° Gli elettroni abbandonano un corpo quando sia colpito da certe radiazioni. Tale fatto risultò dimostrato nel corso d'un mio studio sperimentale intorno al meccanismo col quale si compie il noto fenomeno di Hallwachs (dispersione per opera della luce della carica d'un corpo elettrizzato negativamente). Constatai infatti più d'una ventina d'anni fa [31], che un corpo non elettrizzato, conduttore o no, si elettrizza positivamente quando è colpito dalle radiazioni, e specialmente dalle radiazioni ultraviolette.

2.° Si ha abbondante emissione di elettroni dai corpi incandescenti ad altissima temperatura posti in un gas molto rarefatto; ciò che chiaramente risultò dalle ricerche di Thomson e di altri fisici.

Oltre questi due casi, che pel momento c'interessano di più, si ha in varie altre circostanze la

liberazione di elettroni, per esempio dai corpi colpiti da certe altre radiazioni, come i raggi di Röntgen.

Ha una grande importanza la ionizzazione degli atomi dei gaz. Un aeriforme si dice *ionizzato* allorchè contiene, non solo le molecole, ma anche ioni positivi e negativi in seguito all'avvenuta ionizzazione di alcuni degli atomi, da cui le sue molecole sono costituite. Orbene, oltre che coll'azione di certe radiazioni (ultraviolette, raggi Röntgen, raggi dei corpi radioattivi), o con quella di un forte riscaldamento, si ionizza un gas, ossia avviene nuova separazione di elettroni, semplicemente per effetto delle collisioni reciproche fra molecole, ioni, elettroni, ecc.

Una volta liberi, gli elettroni possono produrre effetti svariati. Colle loro collisioni possono ionizzare, come si è detto, atomi neutri; rigenerare atomi unendosi a ioni positivi; produrre ioni negativi unendosi ad atomi (ciò che avviene sempre prontamente fuorchè nel caso di gas estremamente rarefatti). Ad ogni brusca variazione della velocità d'un elettrone, per esempio quando dei raggi catodici sono arrestati da un ostacolo, si genera una

perturbazione elettromagnetica, che si propaga nell' etere colla velocità della luce (300 mila chilometri al secondo), gli effetti della quale, secondo l' opinione dei più, sono quelli attribuiti ai noti raggi di Röntgen; i quali alla loro volta, come ho detto, sono causa di ionizzazione.

A tutto ciò si aggiunga, che gli stessi ioni positivi o negativi possono dar luogo ad effetti simili a quelli dei semplici elettroni, salvo le diversità dovute alla differenza di massa e di velocità, ed infine che i ioni stessi si comportano come nuclei di condensazione per vapori saturi, quelli negativi notevolmente prima e meglio di quelli positivi.

Ora, come questi fenomeni svariati si producono in piccola scala e quando a noi piace coi nostri apparecchi e nei nostri laboratori, essi devono verificarsi in grande nei corpi celesti, ove le condizioni lo impongano.

Sarebbe vera presunzione il pretendere oggi di rendere conto in modo completo dei fenomeni elettrici che hanno luogo nei corpi celesti, e nelle comete in particolare; ma dell' esistenza di alcuni di essi non sembra potersi dubitare.

Uno di questi consiste nel fenomeno fotoelet-

trico sulle particelle del pulviscolo cosmico. Le radiazioni che le colpiscono, oltre che esercitare su di esse quella certa pressione, di cui ho a lungo parlato, devono determinare l'emissione di elettroni dalle particelle stesse, e perciò scaricarle se hanno carica negativa e poi in ogni caso caricarle positivamente. Se, come dirò fra poco, si ritiene che il sole abbia nel suo complesso una carica positiva, una forza elettrica si aggiungerà dunque alla pressione di radiazione, nell'allontanare dal sole il pulviscolo cometario. E così sembra doversi ammettere l'esistenza di quella ripulsione elettrica esercitata dal sole sulle code cometarie, che da sola veniva invocata da Zöllner e da altri per spiegarne la formazione.

Non sembra potersi mettere in dubbio, d'altra parte, l'esistenza di un secondo fenomeno elettrico, quello cioè della continua emissione per parte del sole di elettroni dotati di grande velocità, quale avviene per parte dei corpi incandescenti ([32]).

E poichè verosimilmente tali elettroni arriveranno, almeno in parte, sino a distanze grandissime dal sole in causa della grande velocità con cui sono lanciati, alla quale, secondo il Thomson ([33]),

si dovrebbe aggiungere l'azione d'una nuova specie di pressione di radiazione agente sulle cariche elettriche, e quindi giungeranno sino alla terra, essi potranno rendere conto altresì, come già molto tempo fa aveva proposto il Goldstein ([34]), delle relazioni esistenti fra le macchie solari e le vicende elettriche e magnetiche del nostro globo.

Alla possibilità d'una emissione continua di elettroni per parte del sole si è mossa una facile obiezione, che, per quanto a me consta, non fu ancora completamente rimossa. Ecco qual'è tale obiezione. La carica positiva del sole, in seguito alla continua emissione di elettroni, o deve indefinitamente aumentare, oppure tale carica da tempo dev'essere divenuta tale, da trattenere per attrazione elettrica gli elettroni ad onta della loro velocità iniziale, od almeno da permettere loro soltanto limitate escursioni.

Ora si può far osservare, che può benissimo essersi stabilito uno stato di cose stazionario, e tuttavia tale da consentire l'emissione abbondante e continua dal sole di elettroni spinti in parte a grandissime distanze, se in virtù di qualche fenomeno compensatore delle cariche negative vengono

ad esso restituite. Una tale restituzione ha certamente luogo per opera di elettroni, i quali, o come tali, o dopo aver dato origine a ioni negativi colla loro unione ad atomi neutri, si comportano come nuclei di condensazione di vapori, e in seguito all'aumento di massa dovuto a tale condensazione, ricadono sul sole. Se non che questa restituzione al sole di cariche negative non può essere evidentemente considerata come completa, altrimenti non si potrebbe basare sul definitivo allontanamento di elettroni la spiegazione dei fatti che stiamo discutendo. L'obiezione dunque resta sostanzialmente valida.

Secondo me si riesce a toglierla affatto, se si considera ciò che accade nel sole, non nel suo complesso, ma nelle varie sue parti, spesso in condizioni assai differenti fra loro in un dato momento qualunque.

Pur ritenendo che avvenga, come da ogni corpo ad altissima temperatura e posto nel vuoto, l'emissione degli elettroni dalla maggior parte della superficie solare, penso che vi siano certe regioni di esso da cui temporaneamente sono emessi raggi positivi, come i così detti raggi-canali, o meglio come

quei raggi *anodici*, che si ottengono nei tubi da scariche mediante un elettrodo positivo contenente certi sali. In altre parole si può ammettere, che da certe porzioni della superficie solare siano emessi in abbondanza dei ioni positivi, dotati di velocità grandissima, dei quali, quelli che non ritornano al sole possono benissimo pareggiare il bilancio elettrico dell' astro.

Le regioni che emettono i raggi positivi sarebbero precisamente le macchie solari. Quelle enormi colonne luminose, che hanno presso le macchie la loro origine, che con velocità spesso di decine o centinaia di chilometri al secondo si allungano o si deformano o svaniscono, e a cui si dà il nome di protuberanze, presentano i caratteri dei raggi positivi, sia dal punto di vista della loro velocità sia da quello spettroscopico. Il considerarle come emissioni di ioni positivi permetterà forse di rendere conto delle loro apparenze meglio che supponendole eruzioni di gas incandescenti, in quanto che intervengono nel primo caso le forze elettriche, se non ben note e definite oggi, certamente poderose nel sole e presso di esso.

Nulla si oppone ad ammettere, che l' emissione

dei ioni positivi possa protrarsi sino a determinare nelle macchie una temporanea carica negativa. Ora si sa, che per ispiegare secondo il concetto recentemente esposto da Hale certe modificazioni delle righe dello spettro da lui osservate, simili a quelle che produce il campo magnetico, occorre non solo ammettere un rapido moto vorticoso nei gas delle macchie, ma supporre altresì che le loro particelle posseggano cariche negative.

Possiamo ora formarci una qualche idea delle condizioni in cui si trova una coda di cometa, dal punto di vista del suo stato elettrico.

Le particelle di polvere cosmica possederanno generalmente carica positiva in seguito all'azione fotoelettrica della luce solare; ma ve ne saranno altresì di quelle aventi, almeno transitoriamente, una carica negativa, per esempio perchè investite da elettroni provenienti dal sole.

Quanto al gas che si trova nella coda, anch'esso prenderà parte ai fenomeni d'indole elettrica, giacchè sarà costituito, non solo da molecole, ma anche da ioni dell'uno e dell'altro segno, e ciò per molteplici ragioni, principalmente in seguito all'azione delle radiazioni delle più piccole lunghezze d'onda,

e in seguito alle incessanti reciproche collisioni fra ioni, elettroni e molecole.

Infine, attraverso questo immenso complesso di minutissime particelle solide elettrizzate e di gas ionizzati, passeranno, anche più veloci, gli elettroni emessi dal sole, o eventualmente dalle porzioni del nucleo cometario rese incandescenti dal calore solare.

Se queste sono veramente le condizioni di una coda cometaria, è evidente che essa sarà sede di continui fenomeni di scarica elettrica. E non solo d'innumerevoli piccole scariche fra particelle vicine provviste di opposte cariche, ma fra gruppi più o meno estesi, quando in seguito ai movimenti posseduti dalle molecole gassose e dalle particelle solide, si siano formate regioni diverse, in ognuna delle quali domini la carica d'un dato segno, precisamente come nella nostra atmosfera possono raccogliersi le goccioline d'acqua in nubi distinte di diverso segno di carica.

Sembra difficile il formarsi una idea abbastanza chiara di quei movimenti. Essi certamente non consistono nella semplice traslazione delle particelle dovute alla gravitazione, alla pressione di radiazione

e alle forze elettriche. Per esempio, basta che per un motivo qualunque diminuisca o si annulli la intensità della luce che colpisce una particella (per esempio, quando altre particelle proiettino su quella la loro ombra), perchè sparisca o diminuisca l'apparente forza ripulsiva solare, d'onde una immediata modificazione della sua velocità. Oppure, basta che più particelle si uniscano in gruppo perchè, come dissi già, scemi l'apparente ripulsione, e fin'anche si muti in attrazione pel predominio della gravitazione verso il sole; ed in tal caso quel gruppo finirà per assumere un moto retrogrado.

È poi evidente che se due particelle hanno cariche di opposto segno, questa circostanza favorirà il loro aggruppamento; ma che potrà accadere altresì la riunione fra particelle di carica omonima, con conseguente elevazione di potenziale ed esaltazione dei fenomeni di scarica luminosa.

Non sarebbe facile l'addentrarsi ancor più in questo esame della struttura di una coda cometaria; ma quanto ho esposto basterà a far apparire come sommamente verosimile, che la luce per la quale le code cometarie si rendono visibili, pur essendo certamente in parte luce solare riflessa o diffusa,

sia principalmente di origine elettrica, e simile a quella che sappiamo produrre nei nostri tubi da scariche contenenti certi gas, come idrocarburi, cianogeno od ossido di carbonio, nonchè, almeno in certi casi di comete vicinissime al sole e con code brevi, vapori di sodio e di ferro.

A proposito di ciò amo richiamare, che l'astronomo italiano Donati fu il primo (1864) che studiasse collo spettroscopio la luce emessa dalle comete. Per ciò che riguarda le code oggi si sa, che il relativo spettro consta principalmente di tre striscie o *bande* sfumate verso l'estremo più rifrangibile dello spettro, le quali sensibilmente coincidono con tre delle quattro bande sfumate costituenti lo spettro d'emissione degli idrocarburi. Rimase per un certo tempo una differenza fra i due spettri; giacchè, mentre il massimo d'intensità luminosa delle bande dello spettro cometario è a qualche distanza dal loro limite verso il rosso, tale massimo si osservava, nel caso degli idrocarburi, esattamente alle estremità meno rifrangibili delle bande stesse. Ma Hasselberg ([35]) fece l'importante osservazione, che lo spettro degli idrocarburi diviene di più in più simile a quello delle comete, se a quegli idrocarburi si mesco-

lano successivamente piccole porzioni di ossido di carbonio. Un simile risultato fu ottenuto anche da Vogel ([36]), e non occorre aggiungere altro per farne valutare la portata.

Da quanto ho detto viene messa in chiaro una certa analogia fra ciò che accade in una coda cometaria, ed i fenomeni già noti che si producono nella così detta colonna positiva di un tubo da scariche, cioè nella parte del tubo compresa fra l'elettrodo positivo e lo spazio oscuro di Faraday.

Infatti, anche nella coda cometaria esistono elettroni in rapido moto, tanto che si può dire che in questo caso il sole fa la parte di catodo. Potranno inoltre funzionare da catodo altresì quelle particelle di polvere cosmica, o quelle regioni o nubi più o meno estese, che ad un dato istante posseggono cariche negative. L'anodo, o elettrodo positivo, è naturalmente rappresentato dalle particelle di pulviscolo cariche positivamente, siano esse isolate o raccolte in gruppi o regioni.

A prima vista potrebbe sembrare a qualcuno, che al continuo affluire di elettricità negativa dovuto agli elettroni emessi dal sole, non corrisponda un equivalente rifornimento durevole di elettricità posi-

tiva al pulviscolo cometario. Ma un simile dubbio viene rimosso riflettendo, che non appena una particella di pulviscolo abbia fornito al fenomeno di scarica luminosa l'elettricità positiva in essa prodotta dall'azione fotoelettrica della luce solare, questa prontamente glie la restituisce. È vero che ciò a nulla servirebbe, se gli elettroni, che le radiazioni fanno uscire dal pulviscolo, rimanessero a far parte della coda cometaria; ma ciò non è. Infatti, le velocità con cui gli elettroni abbandonano le particelle della polvere cometaria non hanno direzione preferita, e perciò essi sfuggono in ogni senso nello spazio, precisamente come farebbero le molecole di un gas estremamente leggiero; ed evidentemente questo esodo incessante di elettroni equivale ad un continuo rifornimento di elettricità positiva.

Trova posto qui un'ultima considerazione. È sommamente verosimile, che ciò che si vede d'una coda cometaria sia soltanto una parte di essa. Infatti la scarica luminosa, cui si considera qui principalmente dovuta la luce della coda, deve andare attenuandosi verso i limiti effettivi di questa, e cioè tanto verso i limiti laterali che verso la sua estremità più lontana dal nucleo, tanto da cessare

di essere percettibile in luoghi ove scarseggiano ma non mancano ancora particelle di pulviscolo e molecole gassose. D'onde questa conseguenza, e cioè che il passaggio della terra entro le parti periferiche d'una coda cometaria può avvenire anche quando, stando alle osservazioni dirette, si sarebbe indotti a credere, che il nostro globo passi invece a qualche distanza. Inoltre mi sembra verosimile, che il rapido estendersi delle code, il loro mutare di forma o il loro ridursi a minori dimensioni possa, in alcuni casi almeno, attribuirsi a variazioni sopravvenute nell'estensione della porzione in cui le scariche luminose avvengono con sufficiente intensità per essere visibili. Ciò risparmierà di attribuire al materiale, di cui la coda d'una cometa risulta costituita, delle velocità enormi di traslazione.

VI. - Il supposto incontro del 19 maggio.

Ognuno di voi è ora in grado di comprendere perchè, quando si avvicinava il giorno, nel quale la cometa di Halley doveva trovarsi presso a poco in

linea retta fra il sole e la terra, e questa con molta probabilità doveva essere raggiunta ed avvolta dalla lunga coda, molti si accinsero a studiare, ciascuno dal proprio punto di vista, i fenomeni che verosimilmente potevano prodursi, come: variazioni nel magnetismo terrestre o nello stato elettrico della terra e della nostra atmosfera, ionizzazione eccezionale dell'aria, immissione in questa di sostanze provenienti dalla cometa, ecc.

Si comincia ad avere notizia da varie parti dell'Europa delle osservazioni fatte e delle esperienze eseguite. Esse sono di tal natura da generare un senso di delusione in coloro, che si aspettavano effetti di grande rilievo. Cosicchè, mentre alcuni già pensano che l'incontro fra la terra e la coda della cometa di Halley non sia accaduto, fondandosi forse sul fatto che questa mostrò in ultimo una forma incurvata che la allontanava dal nostro globo, altri preferiscono credere, che l'incontro abbia avuto luogo in una parte assai periferica della coda, ove essa era forse non luminosa ed in ogni caso diradatissima.

Per conto mio penserei, che un simile incontro della terra con una porzione estremamente diradata

della coda sia, se non il solo possibile, almeno il più probabile. Ritengo infatti non accettabile l'opinione di coloro, i quali hanno asserito che la terra può passare attraverso una coda cometaria come un proiettile attraverso la nebbia, senz'altro effetto all'infuori di quello di produrre in questa una momentanea cavità. Secondo me, per rendere fedele il confronto occorrerebbe supporre elettrizzati tanto il proiettile che le goccioline costituenti la nebbia.

È infatti da supporsi, che il globo terrestre agisca nel suo insieme come un corpo caricato positivamente a causa della circostanza, che gli elettroni liberi negli strati più rarefatti dell'atmosfera provenienti da effetto fotoelettrico, da ionizzazioni per urto ecc. devono rapidamente sfuggire per la loro grande velocità, come se si trattasse di molecole d'un gas estremamente leggiero. Ciò indipendentemente dai fenomeni elettrici che si compiono entro l'atmosfera, e cioè: precipitazione di goccie recanti al suolo l'elettricità, in prevalenza negativa, dei ioni che servirono di nucleo di condensazione; esistenza di elettricità positiva specialmente negli strati ove la pressione è quella di massima conducibilità;

formazione di nubi elettrizzate e scariche fra esse oppure fra esse e il globo.

La terra avanzandosi verso la coda dovrà dunque profondamente modificarla, e particolarmente allontanando da sè gran parte della materia che la costituisce, e attraendo soltanto elettroni, ioni e pulviscolo negativi.

Ad ogni modo alcuni effetti, i soli che fossero da aspettarsi se si accettano le considerazioni testè fatte, si sono osservati in diversi luoghi.

Ne riferisco i principali nell'ordine stesso con cui arrivarono a cognizione mia.

Il signor Chree ([31]), esaminate le curve magnetiche tracciate a Kew e relative al 19 maggio, riconobbe, che vi fu bensì in tal giorno una notevole perturbazione, ma non ciò che può dirsi una burrasca magnetica. Similmente le curve del potenziale elettrico non mostrarono nessuna considerevole anormalità, all'infuori di valori negativi del potenziale e rapide oscillazioni verificatesi intorno alle ore 21 del 19 maggio, e intorno alle ore 2 del giorno 20, senza che, come di consueto in simili casi, si avesse pioggia. In complesso dunque nulla che a rigore

non possa essere spiegato all'infuori dell'incontro con una coda cometaria.

Qualche fenomeno più significante venne osservato nelle due stazioni dell'Osservatorio di Parigi, quella del Pic-du-Midi e quella di Bagnères-de-Bigorre ([38]).

Da entrambi questi luoghi d'osservazione si notò nel cielo al mattino una striscia di luce gialla, simile a quelle altra volta osservate prima della levata del sole quando gli alti strati dell'atmosfera erano carichi di minutissimo pulviscolo, per esempio dopo l'eruzione della Martinica. Ciò sembrerebbe indicare, che una qualche porzione dell'ipotetica polvere cosmica, costituente principale delle code cometarie, era penetrata nell'atmosfera terrestre. La stessa interpretazione suggeriscono l'alone di luce verdastra, che apparve intorno alla luna specialmente la sera del 19 e quella del 20 maggio, come pure la corona di due a tre gradi di diametro apparente che si vide attorno al sole, e che, se dovuta a diffrazione, indicherebbe la presenza di particelle opache aventi due o tre centomillesimi di millimetro di diametro. Inoltre l'intensità della radiazione solare risultò nel giorno 20 maggio alquanto minore del consueto.

Quanto poi ad effetti elettrici attribuibili alla cometa nulla risultò di concreto a Bagnères, all'infuori di una grande intensità del campo elettrico intorno alle 7 del mattino.

C. E. Guillaume aveva suggerito ([39]) di esaminare i gas inerti, che formano un residuo quando si lascia evaporare l'aria liquefatta, onde riconoscere se qualche variazione si producesse nella loro quantità o natura dopo il presumibile incontro fra la terra e la coda della cometa di Halley. Il Claude ([40]) a Boulogne-sur-Seine, col suo apparecchio, che può trattare 350 metri cubi d'aria all'ora, eseguì tali esperienze nei giorni 17, 19, 20 e 23 maggio, senza trovare nessuna variazione di densità nel gas residuo maggiore dell'errore probabile, pur essendo in grado di segnalare la presenza di qualche nuovo gas presente nella proporzione di un millionesimo. Se dunque sembra verificato, come ho già detto poc'anzi, l'ingresso di pulviscolo cosmico nell'atmosfera, altrettanto non può dirsi per i gas presenti nelle code cometarie.

Una osservazione interessante fu compiuta nell'Osservatorio dell'Ebro (Spagna) ([41]), giacchè dalle misure ivi fatte si potè dedurre, che l'aria mostrò

il 19 maggio una conducibilità elettrica maggiore del consueto per abbondanza di ioni, dotati però di piccola mobilità. Si notarono inoltre deboli perturbazioni nel campo magnetico terrestre e nelle correnti telluriche.

Nel giorno 19 e nei giorni vicini furono lanciati a Ditcham Park e a Pyrton Hill dieci palloni-sonde muniti di strumenti registratori ([42]). Cinque di essi salirono ad oltre 17 chilometri, e tutti oltrepassarono i 13 chilometri. Dai tracciati ottenuti si potè desumere, che i palloni avevano subite grandi oscillazioni di temperatura, non dissimili però da quelle osservate in altre circostanze. Anzi, ammettendo che il passaggio della terra attraverso la coda della cometa abbia avuto luogo prima delle ore 7 del 20 maggio, i detti tracciati starebbero ad indicare, che tale passaggio non ha prodotto nessuna modificazione nella temperatura dell'aria negli alti strati dell'atmosfera.

Secondo il prof. J. N. Pring di Manchester ([43]), che con un suo speciale metodo e mediante un pallone-sonda ha misurato la quantità d'ozono contenuto nell'atmosfera, nessuna variazione sensibile si è prodotta, che possa essere attribuita alla cometa.

Infine, secondo una notizia di circa una settimana fa ([44]), si è seguitato a vedere a Bagnères sino almeno al 2 giugno il cerchio luminoso intorno al sole attribuibile a pulviscolo penetrato nell'atmosfera. Inoltre, mentre non fu possibile osservare il crepuscolo dal 21 al 30 maggio in causa dello stato del cielo, esso si mostrò rosso-rame la sera del 31, come da qualche anno non era più stato osservato.

Certamente si stanno raccogliendo anche ora da varie parti i dati di esperienze e di osservazioni fatte nell'epoca dell'incontro fra terra e coda della cometa, o almeno del loro massimo avvicinamento, e ne avremo notizia in seguito; ma mi sembra poco probabile, che qualche risultato differente da quelli cui ho accennato, o d'importanza eccezionale, venga annunciato. E così si può omai concludere, che nessun effetto grandioso si è rivelato per opera della cometa di Halley, e che tutt'al più non ci ha regalato che un poco di pulviscolo, il quale finirà per cadere sino alla superficie del suolo.

Qualche osservazione e qualche esperienza furono fatte il 19 maggio anche nel mio Istituto.

Per cura speciale del prof. Amaduzzi si predisposero gli apparecchi necessari per studiare la ionizzazione dell'aria, come pure per determinare la quantità di materiale radioattivo contenuto nell'atmosfera. Inoltre feci impiantare in una delle torri dell'Istituto un elettrometro registratore con dispersore radioattivo, che continuerà in avvenire a raccogliere senza interruzioni indicazioni, le quali riesciranno utilissime, specialmente se con apparati, che già possiede la Scuola d'Agraria e che sono depositati nel mio Istituto, a quelle osservazioni si aggiungeranno le altre usuali metereologiche. Or bene, anche a Bologna non si ebbero variazioni degne di nota nel potenziale atmosferico; ma ad onta di ciò l'Amaduzzi ebbe a constatare una ionizzazione dell'aria insolitamente grande. Nessuna variazione si notò nella quantità di materia radioattiva tratta dall'aria col metodo di Elster e Geitel.

Coloro, che quella notte vegliarono nel mio Istituto per attendere alle varie misure, poterono poi constatare una condensazione di vapor acqueo d'insolita abbondanza, quale può spiegarsi colla

presenza di molti ioni, e particolarmente di ioni negativi.

Infine, nell'intento di constatare l'eventuale esistenza di radiazioni capaci di attraversare i corpi opachi, come i *raggi di scarica* di Wiedemann o i raggi di Röntgen, preparai una lastra fotografica sensibilissima avvolta in carta nera, sulla quale collocai vari oggetti, cioè una lastrina sottilissima d'alluminio, una lamina di mica e un pezzetto di reticella d'ottone, il tutto coperto con una seconda carta nera, e lasciai questa lastra sino al mattino esposta al cielo. Quando il giorno dopo la sviluppai, essa si annerì alquanto lasciando però una specie di ombra chiara della lamina di mica, e presentando certi altri caratteri un po' contradditori, ma che in complesso sembravano indicare l'esistenza di raggi dotati di un certo potere penetrante, però assai debole. Il giorno dopo e la notte successiva altre lastre egualmente condizionate non diedero alcun risultato.

Non attribuisco naturalmente a tale esperienza, anche perchè è unica, nessuna importanza. Ho ad essa accennato soltanto come indicazione di una

via d'indagine abbastanza promettente, e perchè in pari tempo suggerisce una ricerca nuova, quella cioè della possibile emissione di raggi penetranti per parte d'un gas ionizzato.

È certo che non assisterò ad un ritorno della cometa di Halley e che non sarò io a ritentare quella esperienza, se un'altra cometa non offrirà molto prima di quell'epoca una nuova occasione propizia. Faccio voto che un tale evento si verifichi; non però per un egoistico motivo, ma affinchè si abbiano presto sicuri elementi per giudicare qual grado di fiducia meritino i concetti esposti sui fenomeni fisici aventi sede nelle code delle comete.

CITAZIONI BIBLIOGRAFICHE

(1) Kepler — *Principia mathematica*. I, 3, prop. 41.
De Mairan — *Traité physique de l'Aurore boreale*, Paris, 1754.

(2) Isaac Newton — *Opera ecc.*, Londinium, 1782.

(3) Bennet — *Phil. Trans.*, 1792.

(4) Euler — *Mem. de l'Acad. roy. de Berlin*, 1746.

(5) Fresnel — *Ann. de Ch. et Phys.*, t. 29, 1825.

(6) Crookes — *Phil. Trans.*, 1873.

(7) Zöllner — *Pogg. Ann.*, t. 160, 1877.

(8) Maxwell — *A Treatise on Elec. and Magn.*, t. 2. p. 391.

(9) A. Bartoli — *Sui movimenti prodotti dalla luce*, Firenze, 1876. — *Il N. Cimento*, t. 15, 1884.

(10) Lebedew — *Ann. d. Phys.*, t. 6, 1901.

(11) Nichols and Hull — *Ann. d. Phys.*, t. 12, 1903.

(12) Poynting — *Phil. Mag.*, t. 9, 1905.

(13) Boltzmann — *Wied. Ann.*, t. 22, 1884.
(14) Wien — *Rapports du Congrès de Physique*, 1900, t. II p. 23.
(15) Galitzine — *Wied. Ann.*, t. 45, 1892.
(16) Guillaume — *Arch. de Genève*, t. 31, 1894.
(17) Poynting — *Proc. of the Roy. Soc.*, A. t. 83, p. 534, 1910.
(18) Bredichin — *Révision des valeurs ecc.*, Leipzig, 1885.
(19) Arrhenius — *Phys. Zeitschr.*, t. 2, 1900.
(20) Arrhenius — l. c.
(21) Schwarzschild — *Fortschr. d. Phys.*, 1901, t. II, p. 4.
(22) Fitzgerald — *Proc. Roy. Dublin Soc.*, 1883, p. 344.
(23) Nichols and Hull — *Astroph. Journ.*, 1903, p. 353.
(24) Dvoràk — *Pogg. Ann.*, t. 157, 1876; *Ber. d. Wien. Akad.*, 1882, p. 740.
(25) Lebedew — *Wied. Ann.*, t. 62, 1897.
(26) Lebedew — *Wied. Ann.*, t. 52, 1894.
(27) Lebedew — *Wied. Ann.*, t. 59, 1896.
(28) Lebedew — *Wied. Ann.*, t. 45, 1892.
(29) Lebedew — *Wied. Ann.*, t. 32, p. 411, 1910.
(30) Stoney — *Astroph. Journ.* January 1898; May, June 1900.
(31) Righi — *Rend. della R. Acc. dei Lincei*, 4 marzo 1888, p, 186.
(32) J. J. Thomson — *Phil. Mag.* August 1902, p. 256.
(33) J. J. Thomson — l. c.
(34) Goldstein — *Wied. Ann.*, t. 12, p. 266, 1881.
(35) Hasselberg — *Mém. de l'Acc. de S.t Petersbourg*, 1881.
(36) Vogel — *Astr. Nachr.*, 1881.
(37) Chree — *Nature*, Mai 26, 1910.
(38) Marchand — *Comp. Rend.*, 30 mai 1910.

(39) Guillaume — *Bull. de la Soc. Astr. de France*, avril 1910.
(40) Claude — *Nature*, June 2, 1910.
(41) Cirera et Urach — *Comp. Rend.*, 6 juin 1910.
(42) Duies — *Nature*, June 9, 1910.
(43) Pring — *Nature*, June 9, 1910.
(44) Marchand — *Comp. Rend.*, 3 juin 1910.

INDICE

I. Introduzione. . . . . Pag. 1
II. La pressione di radiazione . . . . . » 3
III. Costituzione delle code cometarie. . . . . » 14
IV. La pressione di radiazione sui gas. . . . . » 22
V. Fenomeni elettrici nelle comete. . . . . » 34
VI. Il supposto incontro del 19 maggio . . . . » 50
Citazioni bibliografiche . . . . . » 61

89.0

LABORAVI FIDENTER

ATTUALITÀ SCIENTIFICHE

1. **Augusto Righi** — *Il moto dei ioni nelle scariche elettriche* — Seconda edizione con aggiunte - Un volume con 3 tavole e 11 figure intercalate nel testo. L. 3,—
2. **Giacomo Ciamician** — *I problemi chimici del nuovo secolo* — Seconda edizione - Un volume . . . . . » 2,—
3. **Augusto Righi** — *La moderna teoria dei fenomeni fisici (radio-attività, ioni, elettroni)* — Terza edizione interamente rifatta - Un volume con figure . » 5,—
4. **Virgilio Ducceschi** — *Evoluzione morfologica ed evoluzione chimica* - Un volume. . . . . » 2,—
5. **Carlo Emery** — *La determinazione del sesso dal punto di vista biologico* — Un volume con una tavola e figure . . . . . » 2,—
6. **Augusto Righi** — *Il Radio* - Un volume con 13 incisioni e 3 tavole fotozincografiche. . . . . » 3,—
7. **Lavoro Amaduzzi** — *Il Selenio* - Un volume con figure nel testo . . . . . » 3,—
8. **Ing. Giovanni Giorgi** — *Le ferrovie a trazione elettrica* - Un volume con 13 figure nel testo. . . . . » 3,—
9. **Lavoro Amaduzzi** — *La ionizzazione e la convezione elettrica nei gas* - Un vol. con moltissime figure » 5,—
10. **Augusto Righi** — *Le nuove vedute sull' intima struttura della materia* - Un volume. . . . . » 2,50
11. **Giacomo Ciamician** — *La chimica organica negli organismi* - Un volume. . . . . » 2,50
12. **Augusto Righi** — *La materia radiante e i raggi magnetici* — Seconda edizione aumentata - Un volume con 57 figure e 22 riproduzioni fuori testo. . . . . » 8,—

Prezzo del presente volume lire 2,50